

東北工業大学 正会員 松川 忠司
東北工業大学 正会員 神山 眞

1. はじめに

周知のように耐震設計の第一の目的は、予想される地震動に対して構造物の安全性を確保する事である。そのためには構造物に対する入力地震動の設定、入力地震動による構造物の地震時挙動の把握が耐震工学上では極めて重要な課題の一つであり、実際の地震観測記録に基づいた方法が最も有効である。このような観点から著者らは、当大学敷地内でアレー地震観測を行う機会を得ている。本報告はこのアレー地震観測システムによって得られた地震記録と、常時微動記録を用いて地盤と構造物の地震時挙動の相互関係について考察したものである。

2. アレー地震観測および常時微動観測

図1の概略図に示すように東北工業大学6号館（4階建て鉄筋コンクリート構造物）の1階(F1)、4階(F4)およびその付近の地盤上(G1)のサイトで3点アレー地震観測を実施している。観測に用いている地震計はI Cカード地震計と呼ばれるもので、3成分(水平2成分、鉛直1成分)の地震記録をI Cカードにデジタル記録するようになっている。この地震計は、微小地震から強大地震(最大1024gal)までの広帯域をカバーしており、遅延時間5秒、停電補償バッテリを内蔵しており、地震発生時には最大値および気象庁震度階級も表示するようになっている。これら3地点での地震観測はオフラインになっているが、この地震計は水晶時計を内蔵しており1時間毎にNHK時報による時刻修正を行っているので、見かけ上のオンライン同時観測となっている。一方、常時微動観測は地震観測点で、3成分(TR:建物短辺方向、LG:建物長辺方向、UD:鉛直方向)同時観測を行った。用いた常時微動計は小型サーボ型速度計付き携帯用振動計で、ラップトップ型パソコンの制御により観測記録をデジタル記録するようになっている。常時微動観測は、人工振動の少ない時間を見

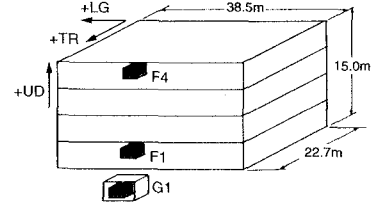


図1. 地震観測点の概略図

3. 観測波形および解析方法

1990年12月から地震観測を開始しており、1994年3月現在で99地震、516成分の地震記録が得られている。得られた地震記録のうち、G1、F1、F4の3観測点で同時に観測された24地震を今回の考察の対象にした。解析に用いた地震記録および常時微動記録のうち、F4での記録の例を図2に示す。図2の左側に平成5年釧路沖地震(MJ=7.8)の地震波形を、中側にMJ=4.7の地震波形を、右側に常時微動波形を示している。当然のことながら地震波形と常時微動波形は、全く異なった振動をしていることが観察される。周期特性をみるために、このようにして得られた観測波形に対して2048個(100Hz)のデータを抽出し、FFTによ

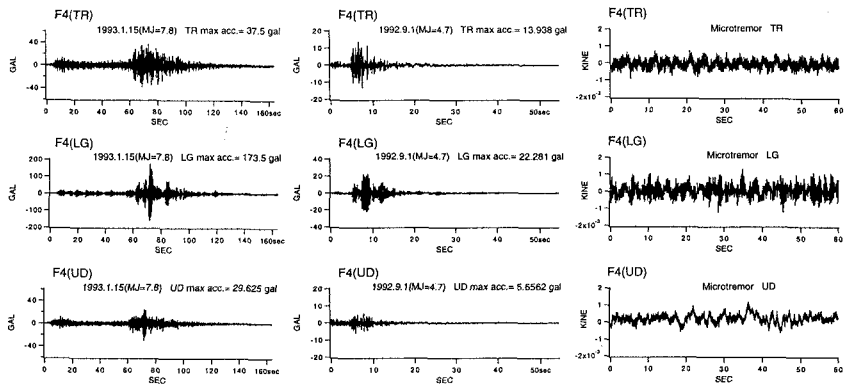


図2. F4サイトにおける観測波形の例

(左: MJ7.8の平成5年釧路沖地震, 中: MJ4.7の地震記録, 右: 微動記録)

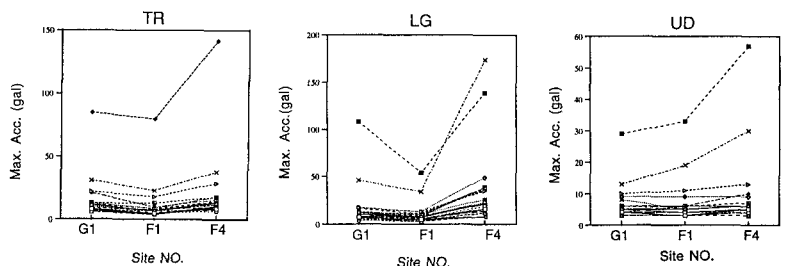


図3. G1, F1, F4での地震動最大加速度の変動例

りフーリエスペクトルを求めた。

4. 解析結果および考察

まず、地震動の最大加速度が観測点によってどのように変動するのかを示したのが図3である。この図からG1(地盤)の地震振幅は、F1(1階)で減衰され、F4(4階)で大きく増幅され、更にTRに較べてLGがF4で大きく増幅されることがわかる。これに対して鉛直動成分はこのような顕著な傾向はみられず、水平動成分と較べて観測点による影響の少ないことがわかる。この振動の現象をもっとわかりやすく視覚的に示したのが図4のオービットである。図4は、図2で示した地震記録、常時微動記録による水平動成分の軌跡を表しており、縦軸はTR方向の振幅を、横軸はLG方向の振幅を示している。図2でのMJ=4.7とMJ=7.8の地震とは、単純に計算して地震エネルギーで約45,000倍の違いがある。また、常時微動は地震動とは違った振動であるが、この様に全く異なったマグニチュードおよび振動現象であるにも拘らず、この図から、かなり類似した振動特性を示すことがわかる。すなわち、G1(地盤)での振幅は方向性を持たず、F1(1階)で減衰され、F4(4階)でLG方向(長辺方向)に増幅されることがわかる。特に、地震動では4階で長辺方向にかなり大きく増幅して振動することがわかる。一般に、建物短辺方向が長辺方向に較べて大きな揺れを示すと考えられるが、ここでの結果は建物の構造上の理由によるものと考えられ、大変興味ある結果である。

次に周期特性について解析した結果を、図2の地震記録を例に述べる。図5は、F4での水平動TR成分、LG成分のフーリエスペクトルの例である。地震動と常時微動では振幅が大きく異なるので、ここでは左側に地震動のフーリエ振幅を、右側に常時微動のそれをとっている。全く異なった波形記録を解析しているのにも拘らず、フーリエスペクトルの周期特性はかなり類似していることがわかる。一方、この図から卓越周期の伸びが観察される。すなわち、常時微動の卓越周期より、地震MJ=4.7の卓越周期は伸びており、地震MJ=7.8ではさらに伸びていることがわかる。

次に、震源(振動源)、伝播経路による影響を取り除き、構造物のみによる振動特性(疑似周波数応答関数)を抽出するために、F4(4階)とG1(地盤)のスペクトル比をとったのが図6である。この図から、それぞれの周期特性は振動性状によらず、かなりよく調和していることがわかる。このことは、地盤と構造物のスペクトル比から、構造物の疑似周波数応答関数を抽出できることを示唆している。

次に、常時微動スペクトルのH/V比(水平動/鉛直動)から、前述の疑似周波数応答関数を抽出できるのかどうかを検討したのが図7である。図7は、図6の常時微動スペクトル比(F4/G1)を、F4サイトでの常時微動スペクトルH/V比に置き換えたものであるが、この図からそれぞれの周期特性は、図6同様かなりよく対応していることがわかる。

以上から、今回考察した構造物における地震時挙動は、常時微動の振動特性と比較的よく調和する結果が示された。

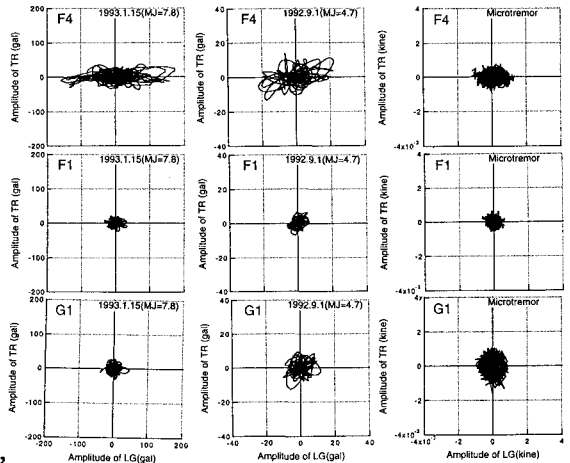


図4. 水平動成分のオービットの例
左: MJ7.8の平成5年釧路沖地震,
中: MJ4.7の地震記録, 右: 微動記録

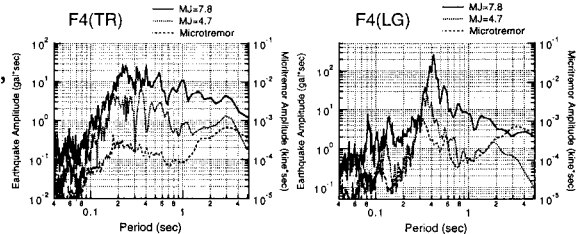


図5. フーリエスペクトルの例 (F4サイト)

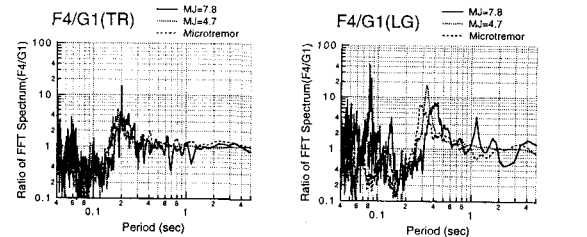


図6. スペクトル比(F4/G1)の例

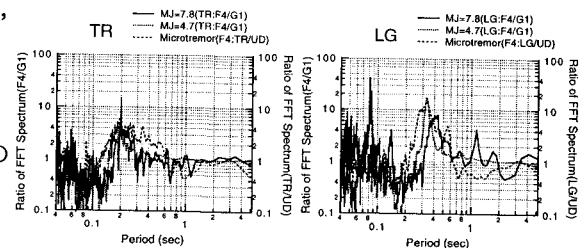


図7. 地震動スペクトル比(F4/G1)と
常時微動スペクトル比(H/V)の比較